

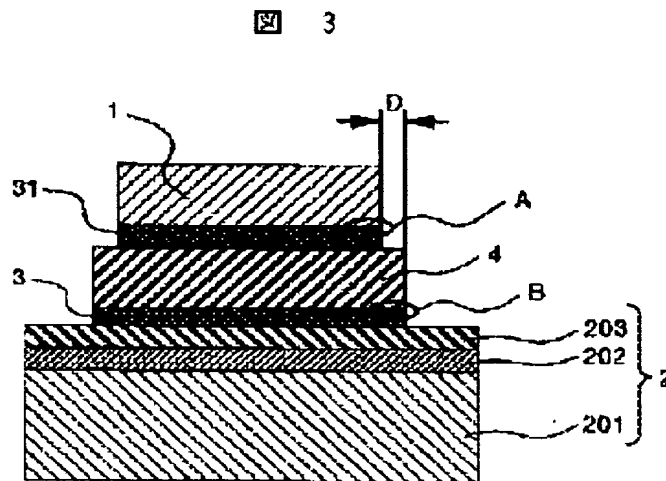
BEST AVAILABLE COPY

SEMICONDUCTOR DEVICE AND ELECTRONIC APPARATUS USING THE SAME

Patent number: JP2001237252
Publication date: 2001-08-31
Inventor: KURIHARA YASUTOSHI; NIITSU TOSHIJI; IIZUKA MAMORU
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- **International:** H01L21/52; H01L23/32
- **European:**
Application number: JP20000050477 20000222
Priority number(s): JP20000050477 20000222

Abstract of JP2001237252

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor device having a superior reliability wherein excessive stresses on a part of a semiconductor base fixed to a mounting member are relaxed, the heat radiation is improved, and the semiconductor device is prevented from being damaged due to thermal and mechanical changes in operation. **SOLUTION:** The semiconductor device has a semiconductor base 1, a mounting member having a wiring layer provided through an insulation layer on a main surface of a metal plate or a mounting member composed of a metal plate 201, and an intermediate metal plate 4 disposed between the mounting member and the semiconductor base. This plate 4 is fixed with a braze 3, 31 containing Sn and one or more kinds of Sn, Sb, Ag, Cu, Ni, P, Bi, Zn, Au and In, and has a thermal expansion coefficient of 7-13.5 ppm/deg.C and a thermal conductivity of 150 W/m.K or more in the direction parallel to the fixed surface of the metal plate 4. Its size is larger by 0.3 mm or more (D) in the direction parallel to the fixed surface of the metal plate 4 than the size of the semiconductor base in the direction parallel to the fixed surface of the semiconductor base.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-237252
(P2001-237252A)

(43) 公開日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 21/52		H 0 1 L 21/52	B 5 F 0 4 7
23/32		23/32	C

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2000-50477 (P2000-50477)

(22) 出願日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 栗原 保敏

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 新津 利治

長野県小諸市大字柏木190番地 株式会社
日立製作所半導体グループ内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外1名)

最終頁に続く

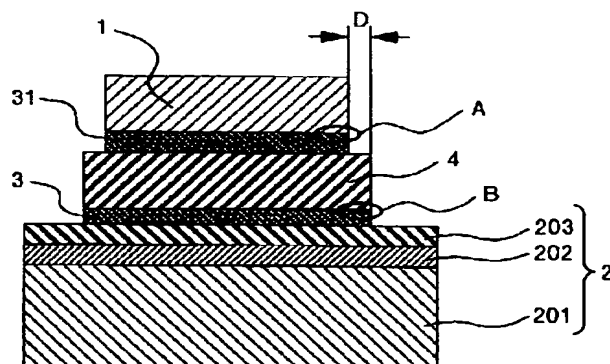
(54) 【発明の名称】 半導体装置とそれを用いた電子装置

(57) 【要約】

【課題】半導体基体の載置部材に固着する部分の過大な応力を緩和すると共に放熱性を向上させ、運転時の熱的および機械的变化による半導体装置の破損を防止し、優れた信頼性の半導体装置の提供にある。

【解決手段】半導体基体1、金属板の主面に絶縁層を介して配線層を設けた載置部材または金属板201からなる載置部材、該載置部材と前記半導体基体との間に配置された中間金属板4が、Sn、Sb、Ag、Cu、Ni、P、Bi、Zn、Au、Inの1種以上とSnを含むろう材3、31により固着され、該中間金属板の固着面と平行な方向の熱膨張率が $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率が $150 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上であり、該中間金属板の固着面と平行な方向のサイズが前記半導体基体の固着面と平行な方向のサイズより 0.3 mm 以上 (D) 大きい半導体装置。

図 3



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基体、金属板の主面に絶縁層を介して配線層を設けた載置部材または金属板からなる載置部材、該載置部材と前記半導体基体との間に配置された中間金属板が、Sn、Sb、Ag、Cu、Ni、P、Bi、Zn、Au、Inの1種以上とSnを含むろう材により固着され、該中間金属板の固着面と平行な方向の熱膨張率が $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率が $150 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上であり、該中間金属板の固着面と平行な方向のサイズが前記半導体基体の固着面と平行な方向のサイズより 0.3 mm 以上大きいことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記半導体基体の載置部分が樹脂封止されている請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 半導体基体、金属板の主面に絶縁層を介して配線層を設けた載置部材または金属板からなる載置部材、該載置部材と前記半導体基体との間に配置された中間金属板が、Sn、Sb、Ag、Cu、Ni、P、Bi、Zn、Au、Inの1種以上の物質とSnを含むろう材により固着され、該中間金属板の固着面と平行な方向の熱膨張率が $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、熱伝導率が $150 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上であり、該中間金属板の固着面と平行な方向のサイズが前記半導体基体の固着面と平行な方向のサイズより 0.3 mm 以上大きい半導体装置が、負荷に給電する装置に組み込まれていることを特徴とする電子装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子基体を載置部材上に中間金属板を介してろう付けされた構造の半導体装置およびこれを用いた電子装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体素子基体を支持する部材は非絶縁型半導体装置の一電極を兼ねる場合が多かった。例えば、パワートランジスタチップを銅ベース上にPb-Snはんだ材により搭載したパワートランジスタ装置では、銅ベース（金属支持部材）はトランジスタのコレクタ電極と支持部材を兼ねている。このような半導体装置では、数アンペア以上のコレクタ電流が流れ、トランジスタチップは発熱する。

【0003】この発熱に起因する特性の不安定性や寿命の劣化を避けるため、銅ベースは熱放散のための部材を兼ねる。また、高耐圧化および高周波化され、大電流を流すことの可能な半導体素子基体を、上記銅ベースに直接はんだ付け搭載した場合は、熱放散中継部材としての銅ベースの役割は一層重要になる。

【0004】また、半導体装置の全ての電極を金属支持部材から電気的に絶縁し、半導体装置の回路適用上の自由度を増した構造が出現している。このような絶縁型半導体装置において、全ての電極は絶縁部材により金属支

持部材を含む全てのパッケージ部材から絶縁されて外部へ引き出される。そのために、一対の主電極が回路上の接地電位から浮いている使用例であっても、電極電位とは無関係にパッケージを接地電位部に固定できるので、半導体装置の実装が容易になる。

【0005】絶縁型半導体装置においても、半導体素子を安全かつ安定に動作させるためには、半導体装置の動作時の発生熱を、パッケージの外へ効率よく放散させる必要がある。この熱放散は通常、発熱源である半導体基体から、これに接着された各部材を通じて気中へ熱伝達されることで達成される。絶縁型半導体装置ではこの熱伝達経路中に、絶縁体、半導体基体を接着する部分等に用いられた接着材層（ろう材、または、はんだ材）を含む。

【0006】また、半導体装置を含む回路の扱う電力が高くなるほど、あるいは要求される信頼性（経時的安定性、耐湿性、耐熱性等）が高くなるほど、完全な絶縁性が要求される。ここで云う耐熱性には、半導体装置の周囲温度が外因により上昇した場合の他に、半導体装置の扱う電力が大きく、半導体基体で発生する熱が大きくなった場合の耐熱性も含む。

【0007】一方、混成集積回路装置あるいは半導体モジュール装置では、一般に半導体素子を含むあるまとまった電気回路が組み込まれるため、その回路の少なくとも1部とこれらの装置の支持部材あるいは放熱部材等の金属部とを電気的に絶縁する必要がある。

【0008】例えば、両面にアルマイト層（ $14 \sim 30 \mu\text{m}$ ）を形成したアルミニウム板（ $1 \sim 2 \text{ mm}$ ）の一方の面上に、エポキシ樹脂絶縁層（ $28 \mu\text{m}$ ）を介して銅箔（ $35 \mu\text{m}$ ）を形成した混成集積回路装置用基板が開示（①：風見明“MIST基板”：工業材料、Vol.30、No.3、22～26頁（1983年））されている。また、上記銅箔を選択エッチングして、回路配線を施した混成集積回路装置用基板上に、はんだ付けによりパワー半導体素子、および、受動素子が搭載されたものが開示されている。

【0009】また、混成集積回路装置用基板上にPb-60wt%Sn系はんだ材によりパワートランジスタ素子やセラミック製コンデンサおよびチップ抵抗を搭載し、これらの搭載素子を、アルミニウムと同等の熱膨張率（ $25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ）のエポキシ樹脂組成物により封止した構造のハイブリッドIC装置が開示（②：N. Sakamotoら“An Improvement on Solder Joint Reliability for Aluminum Based IMST Substrate”：IMC 1992 Proceedings、525～532頁（1992年））されている。

【0010】上記①、②の従来技術の混成集積回路装置やハイブリッドIC装置は、放熱を促進させるためアルミニウムフィン等のヒートシンクへ機械的に取り付けるか、または、外部回路の形成された、例えば、プリント

回路基板等にはんだ付けにより固着され使用される。

【0011】一般に、半導体素子基体は、載置部材上に融点の比較的低いろう材により接着される。例えば、Sn-Sb系合金ろう材であって、Ni、CuおよびPを共に含有した半導体装置組み立て用合金ろう材が開示されている。この場合、SnにSbを添加することでろう材自体の機械的強度を高め、はんだ層と被接着部材の表面との界面にNi-SnあるいはCu-Snの金属間化合物が形成されるのを抑えることができ、半導体装置の信頼性を向上するものである（③：特開平4-49630号公報）。

【0012】また、半導体素子とこれを支持する載置部材とをろう付けした半導体装置において、前記ろう材の組成を重量比87～92.4%の錫と、重量比7.0～10.0%のアンチモンと、重量比0.6～3.0%のニッケルより構成した半導体装置が開示されている。これによれば、ろう材の機械的強度が高く、銅と錫の合金の形成が抑制され、半導体装置の信頼性が高くなると云われている（④：特公平3-3937号公報）。

【0013】上記③、④の従来技術に基づくろう材を用いて、回路素子を搭載した混成集積回路装置やハイブリッドIC装置は、近年の環境保全に対するアプローチ、即ち、Pbフリーはんだ化の目的に沿った装置となり得る。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】前記①、②に基づく混成集積回路装置やハイブリッドIC装置（以下、半導体装置と云う）の場合は、熱膨張率の小さい搭載部品、例えば、半導体素子基体（Si：3.5ppm/°C）が、熱膨張率の大きい回路基板（Al：23ppm/°C）上にPb-Sn系合金材のろう付けにより固着される。ろう付け部は搭載部品を基板上の所定位置に固定すると共に、上記半導体装置の配線および放熱路の役割を担う。

【0015】しかし、上記半導体装置には稼働時や休止時に伴う熱ストレスが繰り返し印加され、最終的にろう付け部の熱疲労破壊に至る。特に、樹脂封止が必要な場合には、この封止樹脂の熱膨張率が混成集積回路用基板に対して適切に調整されていないと、両者の接合界面に過大な残留応力が生じ、これに半導体装置の稼働時の熱応力が重畳されると、ろう付け部の熱疲労破壊が一層加速される。

【0016】以上の熱疲労破壊が進むと、断線、熱放散路の遮断等の結果に到り、半導体装置はその回路機能を失う。

【0017】従って、第1の課題としては、半導体素子基体と回路基板の間の熱膨張率差に基づく過大な応力を緩和する手段が必要である。

【0018】半導体装置の熱発生量が少なく、要求される信頼性がさほど高くない場合には、半導体基体をどのような回路基板に搭載しても問題はない。しかし、発熱

量が大きく、高信頼性が要求される場合には、半導体基体が搭載される部分の構造が問題となる。

【0019】前記①、②の従来技術例に基づく回路基板は、アルミニウム板上にエポキシ樹脂絶縁層を介して銅箔配線を形成した断面構造を有している。発熱源としての半導体基体が上記回路基板に直接ろう付け搭載された場合は、半導体基体から放出される熱はろう材層、銅箔配線層、エポキシ樹脂絶縁層およびアルミニウム板を順次経由して外部へ放出される。このような構造を採った場合の放熱性は、はさほど高くない。これは、熱伝導率の小さいエポキシ樹脂絶縁層が放熱経路に介在しているからである。

【0020】放熱性が十分でない場合は、稼働時における半導体基体はより高温となって熱暴走し、過熱により半導体装置の回路機能の喪失、半導体基体自体の破壊、回路の断線や短絡、エポキシ樹脂絶縁層の絶縁劣化等の好ましくない現象を生ずる。

【0021】従って、第2の課題としては、半導体素子基体と回路基板との間の放熱経路に、伝熱を助ける手段が必要である。

【0022】本発明の第1の目的は、上記に鑑み、半導体基体を載置部材に固着する部分の過大な応力を緩和すると共に放熱性の向上、運転時の熱的、機械的变化による破損を防止した半導体装置の提供にある。

【0023】また、本発明の第2の目的は、放熱性を損ねることなく高信頼性の半導体装置、および、それを用いた電子装置の提供にある。

【0024】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明の要旨は知義のとおりである。

【0025】半導体基体、金属板の主面に絶縁層を介して配線層を設けた載置部材または金属板からなる載置部材、該載置部材と前記半導体基体との間に配置された中間金属板が、Sn、Sb、Ag、Cu、Ni、P、Bi、Zn、Au、Inの1種以上とSnを含むろう材により固着され、該中間金属板の固着面と平行な方向の熱膨張率が7～13.5ppm/°C、熱伝導率が150W/m·K以上であり、該中間金属板の固着面と平行な方向のサイズが前記半導体基体の固着面と平行な方向のサイズより0.3mm以上大きいことを特徴とする半導体装置にある。

【0026】上記の半導体装置が、負荷に給電する装置に組み込まれたことを特徴とする電子装置にある。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施例の半導体装置の模式断面図である。

【0028】半導体装置30は、金属板（厚さ：0.8～5mm）201の一方の主面に、絶縁層202を介して配線層203が選択形成された回路基板2上に、半導

体素子基体1と、チップ抵抗11やチップコンデンサ13などからなる受動素子と、端子7とが、Sn, Sb, Ag, Cu, Ni, P, Bi, Zn, Au, Inから選択された1種以上の物質とSnとを含むろう材(厚さ: 30~200 μ m)3, 31により導電的かつ機械的に固着される。

【0029】半導体素子基体1は、回路基板2との間に中間金属板(厚さ: 0.3~2mm)4を介して搭載され、金属細線6のボンディングにより配線層203と電気接続されている。これらの搭載部品1, 4, 11, 13, 7, 6, 3, 31や回路基板2は、モールド樹脂8により気密封止される。

【0030】図2は、半導体素子基体1と回路基板2との間に配置し固着される中間金属板4の一例を説明する模式断面図である。

【0031】中間金属板4は、第1金属板41の両面にサンドイッチ状に第2金属板42を接合したものである。

【0032】第1金属板41は、中間金属板4の固着面に平行な方向の熱膨張率を小さく保つためのもので、インバ(Fe-36重量%Ni: 1.5ppm/°C), 42アロイ(Fe-42重量%Ni: 7ppm/°C), フェルニコ(Fe-31重量%Ni-15重量%Co: 5ppm/°C), Mo(5ppm/°C), W(4ppm/°C)等の低熱膨張率材料が望ましい。

【0033】一方、第2金属板42は、中間金属板4の固着面に平行な方向の熱伝導率を大きな値に保つためのもので、Cu(403W/m·K), Al(236W/m·K), 青銅(180W/m·K), 黄銅(106W/m·K)等の熱伝導率の高い材料が望ましい。

【0034】中間金属板4の熱伝導率や熱膨張率は、第1金属板41と第2金属板42の厚さの比率を調整することにより制御される。例えば、第1金属板41が厚さ0.2mmのインバで、両側の第2金属板42が厚さ0.2mmのCuである場合は、熱伝導率は262W/m·K、熱膨張率は10.6ppm/°Cである。

【0035】第1金属板41と第2金属板42の一体化物4にはNiめっき(厚さ3~7 μ m)43が施されている。Niめっき43は一体化物4の表面の品質を保ち、欠陥の無いろう付けを実現するために設けられる。NiめっきはAu, Agによって代替されてもよい。なお、一体化物が良好な状態(窒素ボックス中、湿度管理)で管理できる場合は、めっき43を設けなくともよい。

【0036】図3は、半導体素子基体1の搭載部を説明する模式断面図である。半導体素子基体1は、Al板201の一方の主面にエポキシ樹脂絶縁層202を介してCu配線層203が選択形成された回路基板2上に、Sn, Sb, Ag, Cu, Ni, P, Bi, Zn, Au, Inの1種以上とSnを含むろう材3, 31により導電

的、かつ、機械的に固着されている。この際、半導体素子基体1と回路基板2との間に図2の中間金属板4を介して搭載される。

【0037】ここで、本発明の半導体装置において最も重要な点は、半導体素子基体1と回路基板2との間に配置し固着される中間金属板4は、その被固着面と平行な方向の見かけの熱膨張率が7~13.5ppm/°C、熱伝導率が150W/m·K以上である。そして、中間金属板4の被固着面と平行な方向のサイズが、半導体素子基体1の固着面と平行な方向のサイズより0.3mm以上大きくなるように調整されていることである。

【0038】図4は、半導体素子基体1が中間金属板4を介して回路基板2上に固着された部分のろう材層31, 3の熱歪を示すグラフである。

【0039】図4はシミュレーションによる結果であり、150°Cにおける歪0%の状態から、-55°Cまで冷却した際の、ろう材層端部に生ずる相当歪(%)を表わしたものである。なお、ろう材層31は、Sn-5重量%Sb材(厚さ: 70 μ m)、ろう材層3はSn-3重量%Ag-0.8重量%Cu材(厚さ: 70 μ m)の組成のものを用いた。

【0040】図4中の曲線Aは図3のA部、曲線Bは図3のB部に生ずる歪をそれぞれ表している。

【0041】A部の歪は中間金属板4の熱膨張率が大きくなるにつれ増大する。A部の歪を小さくするためには、中間金属板4の熱膨張率が小さい方が有利である。一方、B部の歪は中間金属板4の熱膨張率が大きくなるにつれ減少する。

【0042】上記の歪を小さくするためには、中間金属板4の熱膨張率が大きい方が有利である。このように、A部(31)とB部(3)の歪は、互いにトレードオフの関係にあり、両者がバランスするのは熱膨張率が10ppm/°C付近にある。

【0043】図5は、半導体素子基体のろう付け部の温度サイクル試験による破壊寿命のワイブル分布を示すグラフである。

【0044】熱膨張率16.5ppm/°CのCuを中間金属板に用いた場合、形状パラメータ $m=3.0$ 、平均寿命 $\mu=1120$ 回のMo(5ppm/°C)の寿命分布を示している。

【0045】この場合、寿命を支配するのは、ろう材層31のクラックによる破壊である。量産品を考慮した-3 σ 水準(累積不良率=約0.1%)の寿命は、120回と極めて短い。また、熱膨張率5ppm/°CのMoを中間金属板として用いた場合は、形状パラメータ $m=5.5$ 、平均寿命 $\mu=800$ 回の寿命分布を示している。この場合の寿命を支配する要因はろう材層3のクラック破壊で、-3 σ 水準寿命は240回とCuの場合より向上している。しかし、CuおよびMoの場合はいずれも、十分な余裕の信頼性を有するとは云えない。

【0046】中間金属板の熱膨張率が過大に小さい場合、ろう材層31のクラックが、そして、熱膨張率が過大に大きい場合に、ろう材層3のクラックが進行する点は、図4の歪発生傾向と符合する。このことは、長寿命を確保するには、ろう材層31またはろう材層3の一方の破壊が、先行して進まないようにすべきことを示唆している。

【0047】一方、熱膨張率 $10.6 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ のCu (0.2mm) - インバ (0.2mm) - Cu (0.2mm) クラッド材からなる中間金属板4を用いた本発明半導体装置では、形状パラメータ $m=5.3$ 、平均寿命 $\mu=4300$ 回、そして -3σ 水準寿命1300回と飛躍的に向上した寿命分布を示している。

【0048】図6は、半導体素子基体のろう付け部の温度サイクル試験による -3σ 水準寿命を示すグラフである。

【0049】熱膨張率が小さい側では、ろう材層3のクラックによる破壊が先行して進むため、半導体装置としての寿命は短くなる。約 $5 \sim 10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の範囲では熱膨張率が大きくなるに伴ない寿命が延び、約 $10 \sim 16.5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の範囲では熱膨張率が大きくなるにつれて寿命は低下する。特に、熱膨張率が大きい側ではろう材層31のクラックによる破壊が先行して進むため、半導体装置としての寿命は短くなる。

【0050】半導体装置の一般的な稼働条件のもとでは、温度サイクル寿命は1000回以上(条件: $-55 \sim 150^{\circ}\text{C}$)が望ましい。こうした観点から選択される金属中間板4の熱膨張率は、 $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の範囲である。

【0051】本発明においては、発熱の著しい半導体素子基体1は、A1のごとき金属板201の一方の主面に、エポキシ樹脂組成物からなる絶縁層202を介してCuからなる配線層203が、選択形成された回路基板2上に、はんだ付け搭載される。半導体素子基体1から金属板201に至る放熱経路の中で、放熱を最も阻害するのはエポキシ樹脂絶縁層202である。

【0052】この場合、半導体装置としての放熱性の良否は、半導体基体からエポキシ樹脂絶縁層に至る経路で、熱流をいかに広げるかにかかると仮定している。

【0053】図7は、半導体装置に電力を印加したときの半導体素子基体の温度上昇を示すグラフである。この図はシミュレーションの結果で、半導体素子基体1の消費電力は10W、半導体素子基体1の表面は断熱状態、そして、放熱面としてのA1板201の表面は 0°C に保たれていると仮定している。

【0054】また、半導体素子基体1のサイズは $7 \times 7 \times 0.28 \text{ mm}$ 、金属中間板4のサイズは $8 \times 8 \times 0.6 \text{ mm}$ である(図3における半導体素子基体1の端部から金属中間板4の端部までの距離Dは 0.5 mm)。

【0055】半導体素子基体1の上昇温度は、金属中間

板4の固着面と平行な方向の熱伝導率が大きいほど低くなる傾向を示している。半導体素子基体1の安定的動作を維持するための温度は、 125°C 程度と考えられる。また、半導体装置はなるべく高い周囲温度(A1板201の温度)のもとで、安定的動作を維持できることが望ましい。

【0056】周囲温度 90°C のもとで安定的動作させるためには、図7を参照すると、金属中間板の熱伝導率が $150 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上に調整されていることが必要である。こうした観点から選択される金属中間板4の熱伝導率は、 $150 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上である。

【0057】図8は、前記の距離Dと半導体素子基体の上昇温度の関係を示すグラフである。この図は実測の結果で、上昇温度はサイズ $7 \times 7 \times 0.28 \text{ mm}$ の半導体素子基体1に、消費電力10Wを与えた時のA1板201の表面温度からの上昇分を示す。上昇温度は距離Dが大きくなるに伴ない低下する傾向を示している。

【0058】このように上昇温度が低くなるのは、半導体素子基体1から放出された熱流が、金属中間板4の領域で拡大された後、エポキシ樹脂絶縁層202を経由してA1板201側へ放出されるためである。即ち、実質的に半導体素子基体1の面積が大きくなった場合と同様の効果による。特に、距離Dが小さい範囲では放熱性の向上効果が著しい。

【0059】上記の $D=0.3 \text{ mm}$ 以上では放熱性向上効果は小さくなるけれども、上昇温度の絶対値は逐次減少している。本発明においては、金属中間板4のサイズが変動しても安定的に上昇温度を低く抑えられることが望ましい。この観点から選択される距離Dは 0.3 mm 以上である。

【0060】なお、上記までに説明した回路基板2は、A1からなる金属板201の一方の主面にエポキシ樹脂絶縁層202を介して、Cuからなる配線層203が選択形成されたものである。しかし、本発明における回路基板2は、A1板201上に絶縁層202を介して、配線層203が設けられた形態に限定されることはない。

【0061】この理由の第1は、絶縁層202や配線層203の無いA1板201上に、半導体素子基体1を直接ろう付け搭載した場合でも、前記①、②の従来技術と同様に、熱膨張率の小さい搭載部品が熱膨張率の大きい回路基板にろう付けされる点では同じであり、従って同様の課題を持つことによる。

【0062】また第2の理由は、A1板201上に金属中間板4を介して半導体素子基体1をろう付け搭載した場合でも、絶縁層202や配線層203を設けた回路基板2の場合と同様に、信頼性向上を図り得るからである。

【0063】従って、本発明においては、後述する実施例3の如く、回路の形成されていないベース板2も回路基板2の範囲に含まれる。

【0064】上述したように本発明において重要な点は、半導体素子基体1と回路基板2との間に固着される中間金属板4の被固着面と平行な方向の熱膨張率が7～13.5ppm/°C、そして、熱伝導率が150W/m・K以上に調整されていることに加えて、中間金属板4の固着面と平行な方向のサイズが、半導体素子基体1の固着面と平行な方向のサイズより0.3mm以上大きくなるよう調整されていることである。このような条件を満たし得る材料は、図2に示すような第1金属板41の両面に、サンドイッチ状に第2金属板42を接合したものの

【0065】図9は、中間金属板の代替材料を説明する模式断面図である。図において、(a)は第1金属41としてのインバと、第2金属42としてのCuとを交互にストライプ状に接合した2枚のアッセンブリを、ストライプ方向が互いに直角になるように配置して接合したものである。この場合の熱膨張率や熱伝導率は、第1金属41と第2金属42の配置量比率、アッセンブリの重ね枚数、厚さ等により調整される。こうした観点からはアッセンブリは1枚でもよいし2枚以上でもよい。

【0066】(b)は第1金属41としてのインバ粒が、第2金属42としてのCuマトリックス中に分散された状態を示す。この場合の熱膨張率や熱伝導率は、第1金属41と第2金属42の配合比率や、厚さ等により調整される。

【0067】(c)は第1金属41としてのMo粒と、第2金属42としてのCu粒との混合体が焼結された状態を示したものである。この場合の熱膨張率や熱伝導率も、第1金属41と第2金属42の配合比率や、厚さ等により調整される。

【0068】以上の(a)～(c)における第1金属41は、中間金属板4の熱膨張率を小さい値に保つためのもので、インバ(Fe-36重量%Ni:1.5ppm/°C)、42アロイ(Fe-42重量%Ni:7ppm/°C)、フェルニコ(Fe-31重量%Ni-15重量%Co:5ppm/°C)、Mo(5ppm/°C)、W

(4ppm/°C)等が選択される。

【0069】また、第2金属42は、中間金属板4の熱伝導率を大きい値に保つためのもので、Cu(403W/m・K)、Al(236W/m・K)、青銅(180W/m・K)、黄銅(106W/m・K)等が選択される。

【0070】(d)は第1金属41と同様の役割を持つSiC粉末41'が第2金属42としてのAlマトリックス中に分散された状態を示すものである。この場合の熱膨張率や熱伝導率は、SiC粉末41'と第2金属42の配合比率により調整される。

【0071】(e)は第1金属41と同様の役割を持つSiC繊維クロス41''が、第2金属42としてのCuマトリックス中に埋め込まれた状態を示すものである。この場合の熱膨張率や熱伝導率は、SiC繊維クロス41''と第2金属42の配合比率により調整される。

【0072】上記(d)および(e)において、第2金属42としてはCu(403W/m・K)やAl(236W/m・K)を用いることができる。

【0073】第1金属41と同様の役割を持つSiC粉末41'やSiC繊維クロス41''は、炭素、窒化アルミニウム、アルミナ、窒化シリコンからなる材料で代替できる。

【0074】上記(a)～(e)においては、いずれにもNiめっき43が施されている。これは、Au、Agによって代替されてもよい。しかし、品質が良好な状態に管理される場合は、上記のめっきを設ける必要はない。

【0075】表1は、中間金属板としての一例である各種代替材料の物性値を示す。ここに掲げる熱膨張率および熱伝導率は、中間金属板4の被固着面と平行な方向の値である。いずれの材料も本発明において必須な熱膨張率(7～13.5ppm/°C)および熱伝導率(150W/m・K以上)に調整されている。

【0076】

【表1】

10

20

30

表 1

No.	複合比 (重量)	熱膨張率 (ppm/°C)	熱伝導率 (W/m·K)	備 考
(a)	(42アロイ/Cu) =4/6	8.9	154	インバとCuのストライプ (アッセンブリ:2枚, 交叉)
(b)	(インバ/Cu) =4/6	7.9	240	インバ粒がCuマトリックス に分散
(c)	(Mo/Cu)=4/6	12.4	310	MoとCuの焼結体
(d)	(SiC/Al)=7/3	7.2	200	Si粒がAlマトリックス に分散
	(SiC/Al)=6/4	8.5	210	
	(SiC/Al)=5/5	12.3	215	
(e)	(C/Cu)=2/8	11.5	320	C繊維をAlマトリックス に配置

【0077】本発明による半導体装置30は、金属板201の一方の主面に絶縁層202を介して配線層203が選択形成された回路基板2上に、半導体素子基体1が中間金属板4を介して、Sn、Sb、Ag、Cu、Ni、P、Bi、Zn、Au、Inの1種以上の物質と、Snを含むろう材3、31により導電的かつ機械的に固着されている。

【0078】具体的なるろう材3、31としては、Sn単体金属、Sn-5重量%、Sb-0.6重量%Ni-0.05重量%P、Sn-5重量%Sbで代表されるSn-Sb系、Sn-3.5重量%Ag、Sn-3重量%Ag-0.8重量%Cuで代表されるSn-Ag系、Sn-58重量%Biで代表されるSn-Bi系、Sn-0.7重量%Cuで代表されるSn-Cu系、Sn-52重量%Inで代表されるSn-In系、Sn-9重量%Znで代表されるSn-Zn系、In-10重量%Agで代表されるIn-Ag系、そして、Au-20重量%Snで代表されるようなAu-Sn系の材料を適用することが可能である。

【0079】パワー半導体素子基体1は、IGBT、トランジスタ、サイリスタ、ダイオード、MOS-FETトランジスタ等、異なる電気的機能を持つものであってよい。また、半導体素子基体1はSi(4.2ppm/°C)、または、Si以外の材料(Ge:5.8ppm/°C、GaAs:6.5ppm/°C、GaP:5.3ppm/°C、SiC:3.5ppm/°C等)であっても同様の効果が得られる。

【0080】搭載素子1、11、13や部品2、4、7等を封止するモールド用樹脂8は、フィラとしSiO₂(溶融シリカ、結晶シリカ)や、ZnO粉末を添加したフェノール硬化型エポキシ樹脂が多く用いられる。この場合、フィラの添加量は所望の熱膨張率およびモールド

処理温度に応じて、50~90重量%の任意の組成を選ぶことが可能である。

【0081】上記のモールド用の樹脂としては、エポキシ樹脂が好ましいが、通常、半導体封止に使用されているものを用いることができる。例えば、フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、ビスフェノールA、ビスフェノールFおよびビスフェノールS型エポキシ樹脂等のビスフェノール型エポキシ樹脂、フェノールまたはクレゾールベースの3官能以上の多官能エポキシ樹脂、ビフェニル骨格、ナフタレン骨格、または、ジシクロペンタジエン骨格を有する2~3官能のエポキシ樹脂等が挙げられる。

【0082】硬化剤としては、1分子当たり1個以上のフェノール性水酸基を有するフェノール化合物があり、特に、フェノールとアラルキルエーテルとの重縮合物、ビスフェノール樹脂、オルトクレゾールノボラック樹脂、ポリバロビニルフェノール等を挙げることができる。

【0083】硬化促進剤としては、アミン系の1,8-ジアザビシクロ(5,4,0)-ウンデセン-7、イミダゾール系の2-メチルイミダゾール、および、リン系のトリフェニルフォスフィン等が使用できる。

【0084】また、必要に応じて強硬化や低弾性率化および種々の特性向上を目的に、充填剤、可撓化剤、カップリング剤、滑剤、着色剤等を配合することができる。

【0085】充填剤としては、溶融シリカ、結晶シリカ、アルミナ、炭酸カルシウム、ケイ酸ジルコニウム、ケイ酸カルシウム、タルク、クレイ、マイカ等の微粉末が好ましい。これら充填剤の平均粒子径は0.1~30μmの範囲が好ましい。

【0086】平均粒径0.1μm未満ではチキソトロビック性が高くなり、組成物の粘度が著しく上昇して成形

が困難となる。また、平均粒径が $30\mu\text{m}$ を超えると狭部への充填が困難になったり、樹脂成分と充填剤が分離し易くなって安定した成形品が得られなくなる。また、可撓化剤、カップリング剤、滑剤、着色剤等についても、同様に用いることができる。

【0087】樹脂による封止は、生産性、経済性の観点からトランスファモールド法が望ましい。しかし、所望の耐水性、電気特性、信頼性等を満足すれば、ポッティング法により封止することも可能である。

【0088】〔実施例 1〕本実施例では、MOS-FET 10 パワー半導体素子基体が組み込まれた半導体装置、および、該半導体装置を用いた電子装置について説明する。

【0089】図10は、本発明の一実施例の半導体装置30の平面図、断面図および回路図である。

【0090】パワー半導体素子基体1として、SiからなるMOS-FETチップ4個（チップサイズ $7\times 7\times 0.28\text{mm}$ ）は、サイズ $8\times 8\times 0.6\text{mm}$ の中間金属板4を介して、Al絶縁回路基板2上にろう材31、3によりろう付けされて搭載されている。従って、距離D 20 は 0.5mm に調整されている。

【0091】中間金属板4は、第1金属板41としてのインバ（厚さ 0.2mm ）の両面に、サンドイッチ状に第2金属板42であるCu（厚さ 0.2mm ）を接合したクラッド材で、表面にNiめっき（厚さ $3\sim 7\mu\text{m}$ ）43が施されている。

【0092】Al絶縁回路基板2は、Al板（サイズ $40.7\times 29.4\times 1.5\text{mm}$ ）201の一方の主面に、エポキシ樹脂絶縁層（厚さ $150\mu\text{m}$ ）202を介してCu配線層（厚さ $70\mu\text{m}$ ）203が選択形成されてい 30 る。

【0093】MOS-FETチップ1と中間金属板4は、組成Sn-5重量％Sbろう材（厚さ $70\mu\text{m}$ 、温度 $270\pm 10^\circ\text{C}$ ）31により、そして、中間金属板4とAl絶縁回路基板2は組成Sn-3重量％Ag-0.8重量％Cuろう材（厚さ $70\mu\text{m}$ 、温度 $240\pm 10^\circ\text{C}$ ）3により、それぞれろう付けされている。またCu配線層203間には、チップ抵抗11がろう材3により固着されている。

【0094】これらのろう付けは、ペースト状ろう材を 40 所定部に塗布し、該塗布部に所要部材を搭載後、空気中で加熱する工程で実施される。

【0095】次いで、エポキシ樹脂枠21と、Cuからなる端子7とを一体化したケース20をAl絶縁回路基板2に、シリコン樹脂接着剤（図示を省略）により取り付け付けた。

【0096】MOS-FETチップ1のゲート、ソースおよびドレインには、それぞれAl金属細線（直径 $30\mu\text{m}$ ）6のワイヤボンディングを施した。

【0097】ゲート端子7aは各MOS-FETチップ 50

で共用し、ソース端子7cとドレイン端子7bは各MOS-FETチップで専用するように配線されている。図示を省略したが、チップ抵抗11の搭載部にはエポキシ樹脂を、そしてMOS-FETチップの搭載部にはシリコン樹脂をポッティング塗布し、それぞれ $150^\circ\text{C}\times 2\text{h}$ の熱処理を施して硬化した。最終的にエポキシ樹脂からなるケース蓋（図示を省略）を取り付け、半導体装置30を完成した。

【0098】これにより、搭載半導体素子1、チップ抵抗11、回路基板2は、モールド樹脂8により気密封止されている。上記により作製された本実施例の半導体装置30は、図10（c）に示すような回路を構成している。

【0099】図11は、本実施例の半導体装置30の熱抵抗特性の変化を示すグラフである。熱抵抗は、通電時間の増加に伴ない高い値をとるが、通電時間約 $3\times 10^3\text{ms}$ 以降では定常値（約 $2.7^\circ\text{C}/\text{W}$ ）を示している。この値は、周囲温度 98°C の条件下で、MOS-FETチップが 10W の電力を消費した場合でも、チップは安 20 定的に動作し得ることを意味する。

【0100】図12は、代表的な本実施例の半導体装置30の温度サイクル試験による熱抵抗の推移を示す。温度サイクル数2000回までは、初期値と同等の熱抵抗（約 $2.7^\circ\text{C}/\text{W}$ ）が維持されている。熱抵抗の増大は温度サイクル数2000回以降で生じている。初期値の1.5倍に到達した時の温度サイクル数を寿命とすると、該半導体装置の寿命は約5000回になる。

【0101】以上のように本実施例の半導体装置の寿命は、統計的には図5の直線Cで表わされる分布を有して 30 いる。直線Cから得られる -3σ 水準寿命は1300回（ $-55\sim 150^\circ\text{C}$ ）であり、本実施例の半導体装置は量産品として十分な信頼性を有することを示している。

【0102】また、本実施例の半導体装置では、金属中間板4の熱膨張率が $10.6\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と好ましい熱膨張率の範囲（ $7\sim 13.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）に調整されている。このことは、ろう材層31、3のいずれかが先行破壊するのを抑え、半導体装置全体としての寿命を長くするのに寄与するものである。

【0103】図13は、本実施例の半導体装置30が組み込まれた電子装置90である電源回路装置を説明するブロック図である。

【0104】この電源回路装置は、入力電源84から供給された交流を整流回路82により直流に変換し、変圧器81により降圧した後、半導体装置30を経由して、電圧制御された直流電力を負荷回路86に供給するものである。ここで、負荷回路86はコンピュータの演算回路である。

【0105】以上の構成を有する電源回路装置は、周囲温度 90°C のもとで連続通電試験に供した。この場合の半導体素子基体1の温度は約 125°C と、電源回路装置

の安定動作が可能な範囲であることが確認された。これは、半導体装置30の金属中間板4の熱伝導率が $150 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以上に制御されていること、および、金属中間板4のサイズが半導体素子基体1のそれより 0.3 mm 以上に制御されていることに基づくものである。この結果、半導体装置30の熱放散が効率的に行なわれ、過酷な温度条件下でも電源回路装置の動作が安定になされた。

【0106】更に、上記電源回路装置には、半導体装置30の金属板201の温度が $30 \sim 100^\circ\text{C}$ の変化を生ずるように、間欠通電試験を施した。この間欠通電試験を5万回繰り返した後に、電源回路装置の電気的機能を調べた。その結果、電源回路装置の電気的機能は、初期状態と同等の機能を維持していることを確認した。

【0107】これは、金属中間板4の熱膨張率が $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ に制御され、この結果、半導体装置30のろう材3、31の熱歪が低く抑えられ、過酷な温度変化条件下でもろう材3、31の破壊が回避された。この結果から試算すると、コンピュータの平均的使用条件のもとで、10年間以上の連続稼働でも、電源回路装置は初期状態と同等の電気的機能を維持し得るものである。

【0108】〔実施例 2〕本実施例では、A1板に回路配線を形成した載置部材上に、パワー半導体素子基体を搭載した半導体装置と、これを用いた電子装置について説明する。

【0109】本実施例の半導体装置は、図1においてA1回路基板201($20.5 \times 38 \times 1.5 \text{ mm}$)の一方の主面に、エポキシ樹脂絶縁層202(厚さ $80 \mu\text{m}$)を介してCu配線層203(厚さ $70 \mu\text{m}$)が選択形成された載置部材としての回路基板2上に、チップ抵抗11やチップコンデンサ13からなる受動素子とリン青銅からなる端子7とが、Sn-5重量% Sbろう材3(厚さ $50 \sim 100 \mu\text{m}$)により導電的、かつ、機械的に固着されている。

【0110】また、回路基板2上には、パワーMOS-FET半導体基体1($5 \times 5 \times 0.25 \text{ mm}$)が、中間金属板($7 \times 7 \times 0.6 \text{ mm}$)4を介して、Sn-5重量% Sbろう材31($50 \sim 100 \mu\text{m}$)、および、同ろう材3($50 \sim 100 \mu\text{m}$)により導電的、かつ、機械的に固着されている。従って、距離Dは 1 mm になるように調整されている。

【0111】中間金属板4は、第1金属板41のインバ(0.2 mm)両面にサンドイッチ状に第2金属板42のCu(0.2 mm)を接合したクラッド材で、表面にNiめっき($3 \sim 7 \mu\text{m}$)43が施されている。

【0112】基体1とCu配線層203の間には直径 $300 \mu\text{m}$ のA1金属細線6が超音波ボンディング法により形成されている。

【0113】これらの搭載部品1、11、13、7、ろ

う材3、A1金属細線6および回路基板2は、熱膨張率 $16 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ に調整されたエポキシ樹脂8をトランスファームドして、気密的に封止されている。

【0114】図14は、本実施例の半導体装置30の内部を示すブロック図である。該装置30には、MOS-FET素子基体1を駆動させるためのゲート駆動回路60と、これを制御するためのコントロール部70とが内蔵されている。

【0115】更に、半導体装置30は、共振電源コントロールICを採用し、耐圧 200 V のパワーMOS-FETトランジスタ1を収納しており、小型、高効率、低ノイズの共振型電源装置、特に、共振型AC/DCコンバータ電源用として好適である。

【0116】共振型AC/DCコンバータの場合は、スイッチング周波数 0.5 GHz で効率 90% 以上の性能が得られている。これは、(1)過電流過電圧保護機能、(2)過熱保護機能、(3)ゲート駆動回路、(4)ソフトスタート機能、(5)特性の揃った2個のパワーMOS-FETトランジスタ等をそれぞれ内蔵していることに基づく。

【0117】なお、本実施例の半導体装置30では、金属中間板4の熱膨張率が $10.6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ と好ましい熱膨張率範囲($7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)に調整されている。このことは、ろう材31、3のいずれかが先行破壊するのを抑制し、半導体装置全体としての寿命を長くするのに寄与している。

【0118】以上の構成を有する本実施例の半導体装置30は、電子装置90としての共振型AC/DCコンバータ装置へ組み込み、周囲温度 90°C のもとで連続通電試験に供した。この場合の半導体基体1の温度が約 125°C と、コンバータ装置の安定動作が可能な範囲であることが確認された。

【0119】これは、半導体装置30の金属中間板4の熱伝導率が $150 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以上に制御されていること、並びに、金属中間板4のサイズが半導体素子基体1のそれより 0.3 mm 以上と制御されていることに基づくものである。その結果、半導体装置30の熱放散が効率的になされ、過酷な温度条件下でもコンバータ装置を安定動作することができた。

【0120】更に、コンバータ装置には、半導体装置30の金属板201の温度が $30 \sim 100^\circ\text{C}$ と変化する間欠通電試験が施された。この試験を5万回繰り返した後のコンバータ装置の電気的機能は、初期状態と同等の機能を維持していることが確認された。これは、金属中間板4の熱膨張率が $7 \sim 13.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ に制御されていることに基づくもので、半導体装置30のろう材3、31の熱歪が低く抑えられ、過酷な温度変化条件下でもろう材3、31の破壊が回避され、これがコンバータ装置の安定動作に反映されている。試算によれば、コンピュータの平均的使用条件のもとで10年間以上にわたり

連続稼働させても、当該コンバータ装置は初期状態と同等の電氣的機能を維持し得るものである。

【0121】〔実施例 3〕本実施例では、パワー半導体素子基体とその電氣的動作を制御する制御回路を搭載した半導体装置と、それを用いた自動車用点火装置としての電子装置について説明する。

【0122】パワー半導体基体1とその電氣的動作を制御する制御回路10を搭載した半導体装置30は、図15に示す斜視図および断面構造を有している。

【0123】SiからなるIGBTチップ基体（チップ 10
サイズ5×5×0.25mm）は、厚さ1mm×面積約25×20mmのA1回路基板（ベース板）2上に中間金属板（サイズ6×6×0.6mm）4を介して、Sn-5重量% Sb-0.6重量% Ni-0.05重量% Pのろう材（厚さ200μm、温度270±10℃）31、Sn-3重量% Ag-0.8重量% Cuのろう材（厚さ200μm、温度240±10℃）3により固着されている。

【0124】中間金属板4は、第1金属板41のインパ（厚さ0.2mm）の両面にサンドイッチ状に第2金属 20
板42のCu（厚さ0.2mm）を接合したクラッド材で、表面にNiめっき（厚さ3〜7μm）43が施されている。

【0125】また、A1回路基板2の表面には、Niめっき（厚さ3〜7μm）43が施されている。

【0126】一方、厚さ約15μmの厚膜Cu配線（図示省略）、厚膜抵抗11およびオーバコートガラス層（図示省略）を設けたサイズ19×10×0.8mmのアルミナセラミックス基板5を用意した。次いで、該基板5の所望領域に、最終的ろう材3'となるSn-3 30
重量% Ag-0.8重量% Cuのろう材粉末を含有したペーストを印刷し、該印刷部にIC12、コンデンサ13、そしてガラススリーブ型ツェナーダイオード14等のチップ部品を搭載し、空气中で250±10℃に加熱した。

【0127】これにより、各チップ部品12、13、14や厚膜抵抗11はろう材3'により厚膜Cu配線層と電氣的に接続され、アルミナセラミックス基板5上にIGBTチップ半導体基体1の動作を制御する制御回路10が形成された。

【0128】このアルミナセラミックス基板5は、シリコーン樹脂接着剤（図示省略）により、A1回路基板2上に取り付けられている。IGBTチップ基体1のエミッタ電極およびゲート電極は、直径300μmのA1金属細線6により制御回路10と電氣的に連絡されている。

【0129】IGBTチップ基体1のコレクタ電極は、A1回路基板2とA1金属細線6を経由して端子7と電氣的に接続されている。制御回路10もA1金属細線6'により端子7と電氣的に接続されている。なお、端

子7はA1回路基板2と同質の材料からなり、その表面にはNiめっき（図示省略、厚さ3〜7μm）が施されている。

【0130】上記の構造のアセンブリは、図15（b）に示す断面図の破線で示すように、IGBTチップ1の搭載部、チップ部品が取り付けられたアルミナセラミックス基板5の搭載部、A1金属細線6および6'が完全に封止される様に、A1回路基板2および端子7の一部を含めてエポキシ樹脂組成物からなるモールド樹脂8がトランスファモールドされている。

【0131】エポキシモールド樹脂8は、熱膨張率16ppm/℃、ガラス転移点155℃、体積抵抗率 $9 \times 10^{15} \Omega \cdot m$ (RT)、曲げ強度53kgf/mm²、曲げ弾性率1600kgf/mm²なる特性を有している。なお、トランスファモールドは180℃で実施し、次いで、150℃、2hの熱処理を施し樹脂の硬化を促進させた。

【0132】図16は半導体装置の温度サイクル試験による熱抵抗の推移を示すグラフである。図中の曲線Aは本実施例の半導体装置、曲線Bは比較例の半導体装置（Moからなる中間金属板を適用）を示すものである。本実施例の半導体装置の熱抵抗は、温度サイクル数が5000回まで初期値（約1.1℃/W）が維持されている。

【0133】上記のように、本実施例の半導体装置30は、高信頼性のものであることが確認された。

【0134】5000回までの試験後にIGBTチップのろう付け部を調べたが、破壊はろう材31、3のいずれにも生じていないことが確認された。これは、金属中間板4の熱膨張率が10.6ppm/℃と好ましい熱膨張率範囲（7〜13.5ppm/℃）に調整されているために、ろう材31、3のいずれか一方の破壊が先行するのを抑え、半導体装置全体としての寿命を長くすることに寄与していることに基づくものである。

【0135】一方、比較例の半導体装置は、温度サイクル数：100回を過ぎると熱抵抗が上昇している。このことは、IGBTチップのろう付け部に、熱伝導性を阻害する破壊を生じていることを意味する。試験後の該半導体装置を分解し、IGBTチップのろう付け部を調べた結果、破壊はろう材3で生じていることを確認した。

【0136】なお、本実施例の半導体装置の熱抵抗初期値は約1.1℃/Wである。この値は、周囲温度：114℃の条件下で、IGBTチップが10Wの電力を消費した場合でも、チップが安定的に動作し得ることを意味する。このように優れた放熱性は、エンジンルーム等の過酷な温度条件の所に、該半導体装置を実装しても安定した性能を維持できることを意味し、自動車用半導体装置としても、特に、好ましい点である。

【0137】図17は本実施例の半導体装置30の回路図である。IGBT素子（1）のエミッタおよびゲート

は、制御回路10と電氣的に接続され、IGBT素子の動作はこの回路10により制御される。

【0138】制御回路10には、チップ抵抗11、IC12、チップコンデンサ13が搭載され、これらの素子は厚膜Cu配線層203により接続されている。IGBT素子と制御回路10からは、それぞれ端子7が引き出されている。

【0139】半導体装置30はIGBT素子とそれを制御する回路10とから構成され、自動車用エンジン点火装置のコイルへ給電するのに用いられる。

【0140】また、図18は、図17の回路と同様に自動車用エンジン点火装置の、コイルへ給電するのに用いられる他の半導体装置の例である。この場合の制御回路には、サージ保護素子13Aやダイオード14も搭載されている。

【0141】上記の回路を有する半導体装置30は、電子装置90としての自動車用エンジン点火装置に組み込まれ、直流電源から供給された電力を制御回路10を通して半導体装置30のIGBT素子をON状態にすることで、IGBT素子のコレクタ電流によりイグニッションコイルの2次側電圧を昇圧して、点火プラグに火花放電を生じさせる。

【0142】この点火装置は、自動車のエンジンルーム内に取り付けられ、最高周囲温度110℃の環境のもとで、自動車用エンジンを点火するのに使用された。実車運転における走行距離32万kmの試験で、エンジン点火装置は連続して稼働状態におかれた。試験後のエンジン点火装置は、初期状態と同等の機能を維持していることを確認した。

【0143】また、点火装置は-40～140℃の温度サイクル試験3000回、および、高温動作試験（周囲温度120℃で繰り返し点火放電させる：1000h）に供した。このような過酷な試験を経た後も、エンジン点火装置の電流制限特性や電流遮断特性には劣化が認められず、試験投入前と同等の電氣的性能が維持されていることを確認した。

【0144】このように、エンジン点火装置として優れた性能が維持できるのは、本実施例の半導体装置30が、過酷な環境下においても優れた回路機能を維持できることに基づくものである。

【0145】〔実施例4〕本実施例では、MOS-FETパワー半導体素子基体が組み込まれたDC/DCコンバータ用半導体装置、並びに、該半導体装置を用いたDC/DCコンバータとしての電子装置について説明する。

【0146】本実施例DC/DCコンバータ用の半導体装置30は、パワー半導体素子基体としてのSiからなるMOS-FETチップ（8個、チップサイズ9×9×0.28mm）は、サイズ10×10×0.6mmの中間金属板4を介して、A1絶縁回路基板2上にろう材3

1、3によりろう付けして搭載されている。従って、距離Dは0.5mmになるように調整されている。

【0147】中間金属板4は、第1金属板41のインバ（厚さ：0.2mm）の両面にサンドイッチ状に第2金属板42のCu（各厚さ：0.2mm）を接合したクラッド材で、表面にNiめっき（厚さ3～7μm）43が施されている。

【0148】A1絶縁回路基板2は、A1板（サイズ68×46×1.5mm）201の一方の主面にエポキシ樹脂絶縁層（厚さ150μm）202を介して、Cu配線層（厚さ70μm）203が選択形成されている。

【0149】MOS-FETチップと中間金属板4は、Sn-5重量% Sbろう材（厚さ70μm、温度270±10℃）31により、そして、中間金属板4とA1絶縁回路基板2はSn-3重量% Ag-0.8重量% Cuろう材（厚さ70μm、温度240±10℃）3によりそれぞれろう付けされている。

【0150】次いで、エポキシ樹脂枠21とCu端子7とを一体化したケース20を、A1絶縁回路基板2にシリコン樹脂接着剤25により取り付け付けた。MOS-FETチップのゲート、ソースおよびドレインには、それぞれA1金属細線（直径300μm）6をワイヤボンディングした。また、MOS-FETチップの搭載部にはシリコンゲル樹脂をポッティング塗布し、150℃×2hの硬化処理を施した。最終的にエポキシ樹脂からなるケース蓋22を取り付けて、半導体装置30を完成した。

【0151】上記により作製された本実施例の半導体装置30は、図19に示す回路を構成している。ゲート端子7aは各MOS-FETチップ（1）毎に専用のものを配置し、ソース端子7cや入力端子7A、出力端子7Bは各MOS-FETチップ間で共用するように配線されている。

【0152】本実施例の半導体装置30であるMOS-FETチップの1個当たりの定常熱抵抗は、約1.5℃/Wであった。この値は、周囲温度110℃の条件下で該チップが10Wの電力を消費した場合でも、安定的に動作できることを意味する。

【0153】次に、本実施例の半導体装置30の温度サイクル試験（-55～150℃）による熱抵抗の推移を追跡した。温度サイクル数5000回までは、初期値と同等の熱抵抗（約1.5℃/W）が維持された。金属中間板4の熱膨張率が10.6ppm/℃と好ましい熱膨張率範囲（7～13.5ppm/℃）に調整されていたため、ろう材31、3のいずれかが先行破壊するのが抑えられ、半導体装置全体としての寿命が延長されている。

【0154】図20は、本実施例の半導体装置30が組み込まれたDC/DCコンバータとしての電子装置90を説明するブロック図である。

【0155】DC/DCコンバータ90は、本実施例の

半導体装置30を駆動させるための制御回路10、変圧器81、整流回路82、そして、平滑および制御回路83が組み込まれ、入力電源84の電圧を昇降圧した電力を電池85に供給し、この電力は最終的に負荷回路86に送られる。ここで、負荷回路86とは、例えば、自動車の照明機器、エアコン、ワイパー、窓等の動力源のモータ類、エンジン用点火装置、センサ類などを云う。

【0156】上記の回路を有するDC/DCコンバータ装置90は自動車に取り付け、走行距離32万kmの実車走行試験に供した。その結果、DC/DCコンバータ装置90は、32万km走行後も所期の回路機能が維持されていた。このように、DC/DCコンバータ装置として優れた性能が維持できたのは、本実施例の半導体装置30が過酷な環境下においても優れた回路機能を維持できることに基づくものである。

【0157】〔実施例5〕本実施例では、パワー半導体素子基体とその電気的動作を制御する制御回路を搭載した半導体装置、該半導体装置を用いた自動車用点火装置である電子装置について説明する。

【0158】本実施例の半導体装置30は、基本的に前記実施例3に記載の半導体装置と同様の構成を有している(図15, 17, 18参照)。従って、変更した要点のみを記述する。

【0159】中間金属板4は表1に示した材料で構成され、その表面にはNiめっき(厚さ3~7 μ m)43が施されている。IGBTチップ基体(チップサイズ5×5×0.25mm)は、厚さ1mm、面積約25×20mmのAl回路基板(ベース板)2上に、中間金属板(サイズ6×6×0.6mm)4を介して、Sn-5重

表 2

No.	複合比(重量)	熱抵抗 ($^{\circ}$ C/W)	温度サイクル 耐久性	備 考
(a)	(42アロイ/Cu) =4/6	1.7	5000回以上	インパとCuのストライプ (アッセンブリ:2枚, 交叉)
(b)	(インパ/Cu) =4/6	1.2	"	インパ粒がCuマトリックス に分散
(c)	(Mo/Cu)=4/6	0.8	"	MoとCuの焼結体
(d)	(SiC/Al)=7/3	1.3	"	Si粒がAlマトリックス に分散
	(SiC/Al)=6/4	1.3	"	
	(SiC/Al)=5/5	1.3	"	
(e)	(C/Cu)=2/8	0.8	"	C繊維をAlマトリックス に配置

温度サイクル耐久性: -55~150 $^{\circ}$ C

*量% Sb-0.6重量% Ni-0.05重量% Pのろう材(厚さ200 μ m, 温度270 \pm 10 $^{\circ}$ C)31、および、Sn-3重量% Ag-0.8重量% Cuのろう材(厚さ200 μ m, 温度240 \pm 10 $^{\circ}$ C)3により固着され、距離Dは0.5mmになるように調整されている。

【0160】また、上記A1ベース板2の表面には、Niめっき(厚さ3~7 μ m)43が施されている。

【0161】また、前記実施例3と同様の制御回路10が形成されたアルミナセラミックス基板5を、シリコン樹脂接着剤9によりA1ベース板2上に取り付け、所定の配線および樹脂封止を施し半導体装置30を得た。

【0162】表2は本実施例の半導体装置30の性能を示し、熱抵抗は0.8~1.7 $^{\circ}$ C/Wである。これらは、周囲温度108 $^{\circ}$ Cより高い温度でIGBTチップが10Wの電力を消費した場合でも、該チップは安定的に動作し得ることを意味している。こうした優れた放熱性は、エンジンルーム等の過酷な温度条件下に半導体装置30を実装しても安定した性能を維持できることを意味し、自動車用半導体装置として好ましい点である。

【0163】また、温度サイクル数5000回までの試験では、各試料とも熱抵抗の増大は生じていない。これは、金属中間板4の熱膨張率が表2に示すように、好ましい熱膨張率範囲(7~13.5ppm/ $^{\circ}$ C)に調整されているために、ろう材31や3のいずれか一方の先行破壊が抑えられ、半導体装置全体としての寿命が延長されたことに基づくものである。

【0164】

【表2】

【0165】本実施例の半導体装置30はIGBT素子とそれを制御する回路10とからなり、図16に示す回

路を有し、自動車用エンジン点火装置のコイルへ給電する電子装置として用いられる。

【0166】上記の回路を有する半導体装置30は、電子装置としての自動車用エンジン点火装置に組み込まれ、自動車のエンジンルーム内に取り付けられて、最高周囲温度110℃の環境のもとでエンジン点火に使用した。実車運転における走行距離32万kmの試験で、エンジン点火装置は連続して稼働状態におかれた。この試験後のエンジン点火装置は、初期状態と同等の機能を維持していることを確認した。

【0167】以上、本発明の実施例について説明したが、本発明の半導体装置30は、実施例記載の範囲に限定されるものではない。

【0168】例えば、図21に示す回路を構成する電子装置に展開されてもよい。この場合、半導体装置30は図22に示す電動機950の回転数制御用インバータ91に組み込まれる。該インバータ装置91は、電動機950と共に電気自動車の動力源として組み込むこともできる。これによって電気自動車の動力源から車輪に至る駆動機構を簡素化でき、ギヤの噛み込み比率の違いにより変速していた従来の自動車に比べ、変速時のショックを軽減することができる。

【0169】更に、この電気自動車は、0~259km/hの範囲でスムーズな走行が可能である他、動力源からの振動や騒音が従来の気筒型エンジンを搭載した自動車の約1/2に軽減することができる。

【0170】また、本発明の半導体装置30を組み込んだインバータ装置91は、ブラシレス直流電動機と共に、冷暖房機（冷房時の消費電力5kW、暖房時の消費電力3kW、電源電圧200V）に組み込んでよい。この場合は、高いエネルギー効率を得ることができ、冷暖房機使用時の電力消費を低減するのに役立つ。

【0171】また、室内の温度が運転開始から設定温度に到達するまでの時間を、交流電動機を用いた場合より約1/2に短縮することができる。

【0172】同様の効果は、半導体装置30が他の流体を攪拌または流動させる装置、例えば、洗濯機、流体循環装置等に組み込まれる場合でも享受できる。

【0173】本発明において、半導体装置は負荷に給電する電気回路に組み込まれて使用される。この際、

(1) 半導体装置が、回転装置に給電する電気回路に組み込まれて、上記回転装置の回転速度を制御するか、または、それ自体が移動するシステム（例えば、電車、エレベータ、エスカレータ、ベルトコンベア）に、回転装置と共に組み込まれ、上記移動システムの移動速度を制御する場合、(2) 前記回転装置に給電する電気回路がインバータ回路である場合、(3) 半導体装置が流体を攪拌または流動させる装置に組み込まれて、被攪拌物または被流動物の移動速度を制御する場合、(4) 半導体装置が物体を加工する装置に組み込まれて、被加工物の研削速度を制御する場合、(5) 半導体装置が発光体に組み込まれて、上記発光体の放出光量を制御する場合、

あるいは、(6) 半導体装置が出力周波数50Hzないし30kHzで作動する場合にも、上記実施例の場合と同様の効果が得られる。

【0174】本発明において、半導体装置の電気回路は実施例に挙げたものに限定されない。例えば、図23に示すように、半導体装置の内部で種々の電気回路が設けられていても、該半導体装置を電子装置に用いる上で支障になるものではない。この際、半導体装置の内部の電気回路に受動素子が組み込まれていてもなんら問題にはならない。

【0175】

【発明の効果】本発明によれば、半導体基体の載置部材に固着する部分の過大な応力を緩和すると共に放熱性を向上させ、運転時の熱的および機械的变化による半導体装置の破損を防止し、優れた信頼性の半導体装置と、それを用いた電子装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の半導体装置を示す模式断面図である。

20 【図2】半導体素子基体と回路基板との間に配置、固着される中間金属板の一例を説明する模式断面図である。

【図3】半導体素子基体の搭載部の詳細を説明する模式断面図である。

【図4】半導体素子基体が中間金属板を介して回路基板の上に固着された部分のろう材における熱歪を示すグラフである。

【図5】半導体素子基体のろう付け部の温度サイクル試験による破壊寿命のワイブル分布を示すグラフである。

30 【図6】半導体素子基体のろう付け部の温度サイクル試験による-3σ水準寿命を示すグラフである。

【図7】半導体装置に電力を印加したときの半導体素子基体の温度上昇のグラフである。

【図8】図3に示す距離Dと半導体素子基体の上昇温度との関係のグラフである。

【図9】中間金属板の構成例を説明する模式断面図である。

【図10】本発明の一実施例の半導体装置の平面図、断面図および回路図である。

40 【図11】本発明の一実施例の半導体装置の熱抵抗特性の推移を示すグラフである。

【図12】本発明の一実施例の半導体装置の温度サイクル試験による熱抵抗の推移を示すグラフである。

【図13】本発明の半導体装置が組み込まれた電子装置の一例を説明するブロック図である。

【図14】本発明の半導体装置の内部を示すブロック図である。

【図15】パワー半導体素子基体とその制御回路を搭載した半導体装置の模式斜視図と断面図である。

50 【図16】半導体装置の温度サイクル試験による熱抵抗の推移を示すグラフである。

【図17】本発明の半導体装置の回路の一例を説明する図である。

【図18】自動車用エンジン点火装置のコイルへの給電に用いられる半導体装置の回路図である。

【図19】本発明の半導体装置の回路の説明図である。

【図20】本発明の半導体装置が組み込まれたDC/DCコンバータとしての電子装置を説明するブロック図である。

【図21】本発明の半導体装置の他の回路の説明図である。

【図22】本発明の半導体装置を組み込んだインバータ装置を説明する図である。

【図23】発明半導体装置の他の電気回路の説明図である。

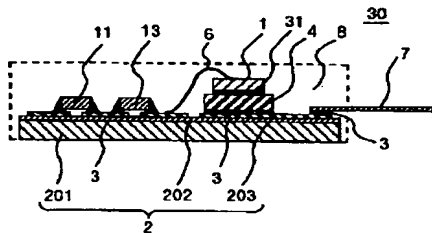
【符号の説明】

1…半導体基体、2…回路基板、3、31…ろう材、4*

*…中間金属板、5…アルミナセラミックス基板、6、6'…金属細線、7…端子、7a…ゲート端子、7b…ドレイン端子、7c…ソース端子、7A…入力端子、7B…出力端子、8…モールド樹脂、9…シリコン樹脂接着剤、10…制御回路、11…チップ抵抗、12…ICチップ基体、13…チップコンデンサ、13A…サージ保護素子、14…ダイオード、20…ケース、21…エポキシ樹脂枠、22…ケース蓋、25…シリコン樹脂接着剤、30…半導体装置、41…第1金属板、42…第2金属板、43…Niめっき、60…ゲート駆動回路、70…コントロール部、81…変圧器、82…整流回路、83…平滑および制御回路、84…入力電源、85…電池、86…負荷回路、90…電子装置、91…回転数制御用インバータ、201…金属板、202…絶縁層（エポキシ樹脂絶縁層）、203…配線層、950…電動機。

【図1】

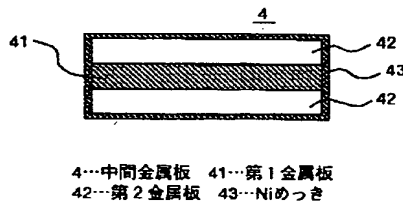
図 1



1…半導体基体 2…回路基板 3、31…ろう材 6…金属細線
7…端子 8…モールド樹脂 11…チップ抵抗
13…チップコンデンサ 30…半導体装置 201…金属板
202…絶縁層（エポキシ樹脂絶縁層） 203…配線層

【図2】

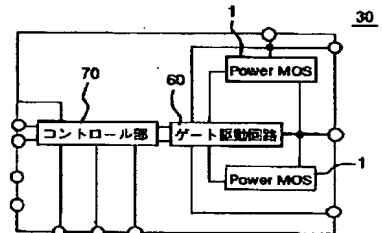
図 2



4…中間金属板 41…第1金属板
42…第2金属板 43…Niめっき

【図14】

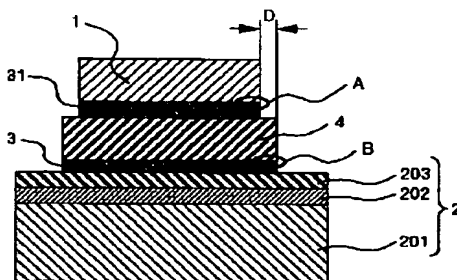
図 14



60…ゲート駆動回路 70…コントロール部

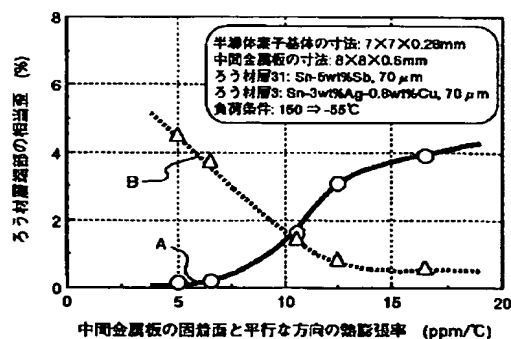
【図3】

図 3



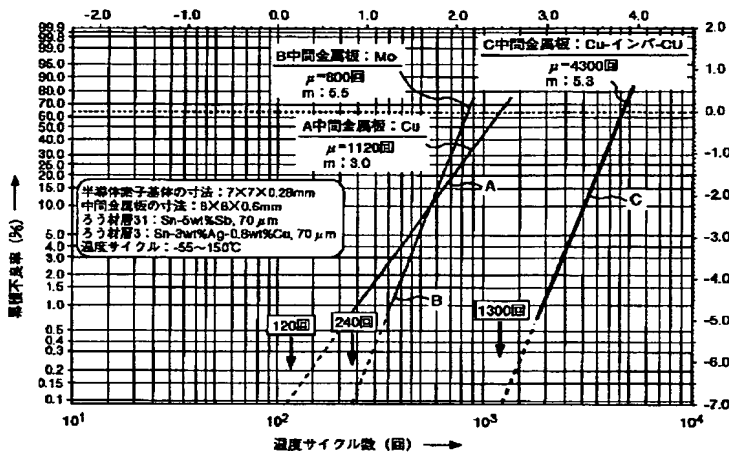
【図4】

図 4



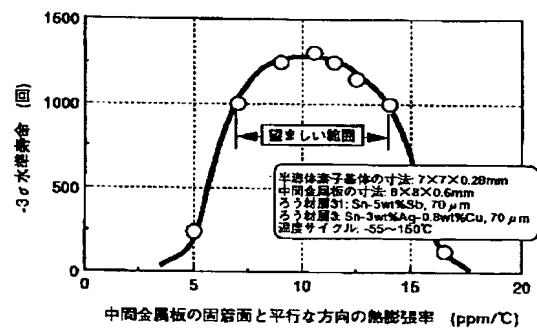
【図5】

図 5



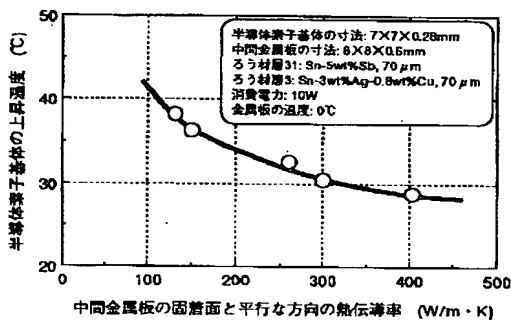
【図6】

図 6



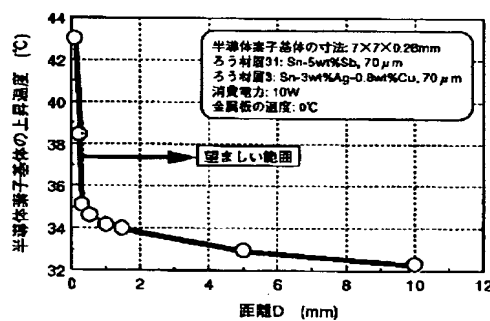
【図7】

図 7



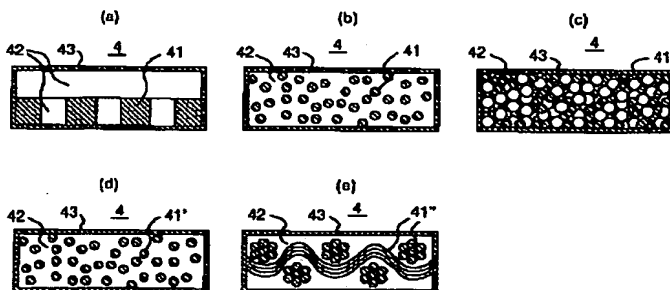
【図8】

図 8



【図9】

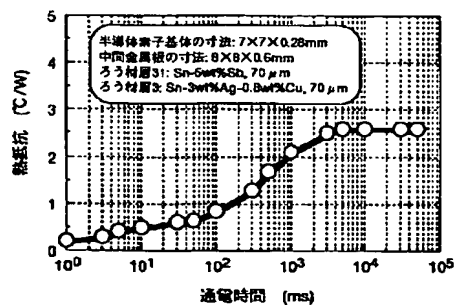
図 9



41'...SIC粉末 41''...鍍銀

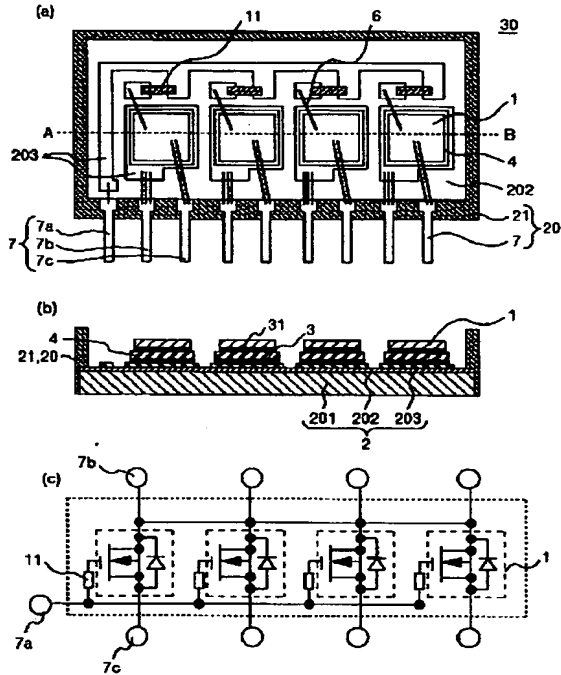
【図11】

図 11



【図10】

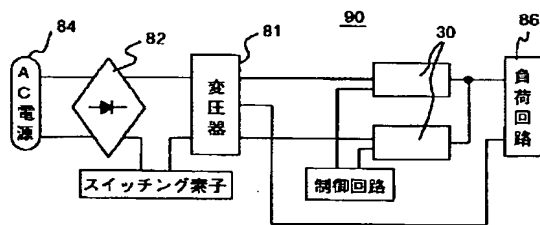
図 10



11…チップ抵抗 21…エポキシ樹脂層 7a…ゲート端子
7b…ドレイン端子 7c…ソース端子 20…ケース

【図13】

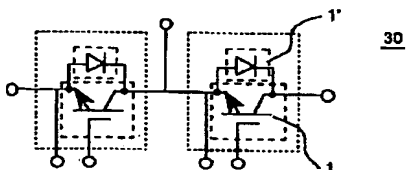
図 13



81…変圧器 82…整流回路 84…入力電源
86…負荷回路 90…電子装置

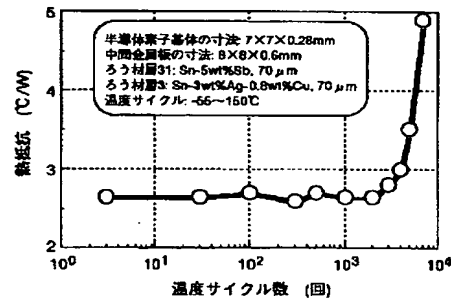
【図21】

図 21



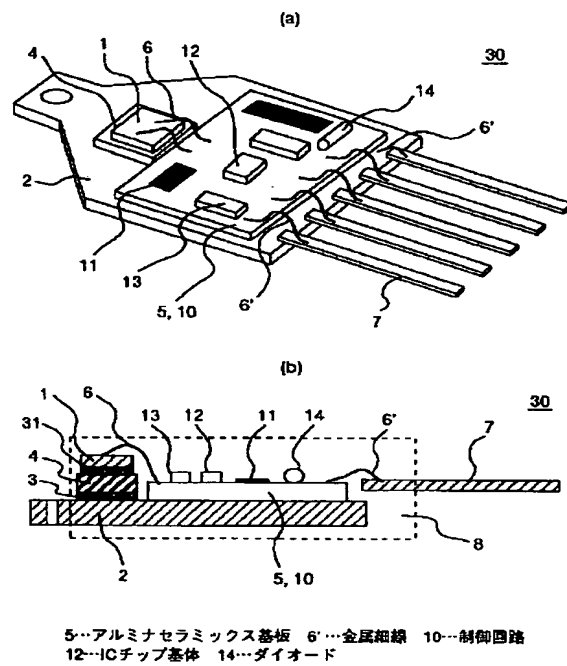
【図12】

図 12



【図15】

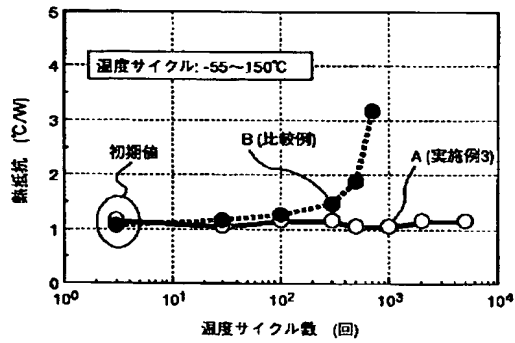
図 15



5…アルミナセラミックス基板 6…金属細線 10…制御回路
12…ICチップ基体 14…ダイオード

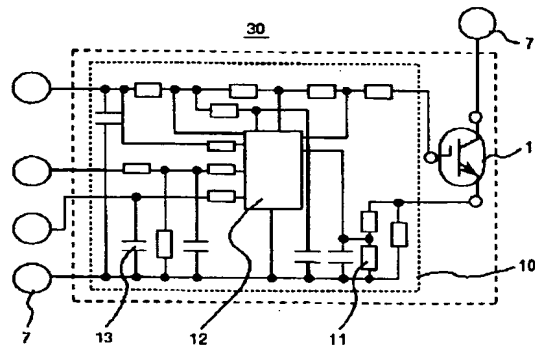
【図16】

図 16



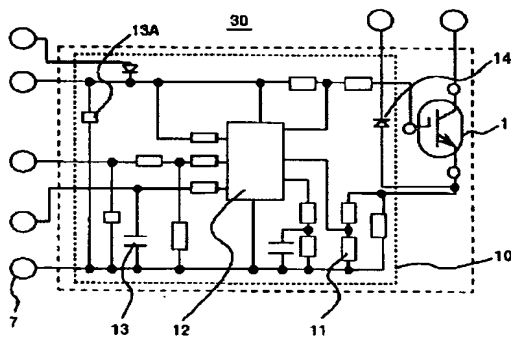
【図17】

図 17



【図18】

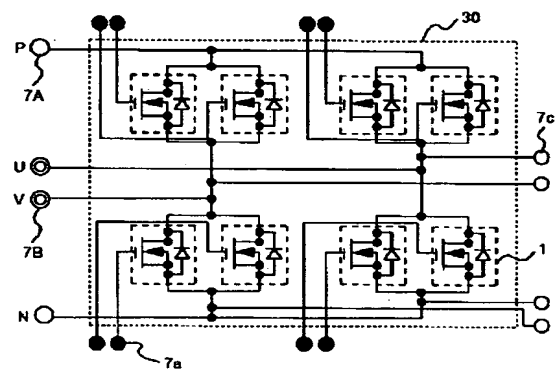
図 18



13A…サージ保護素子

【図19】

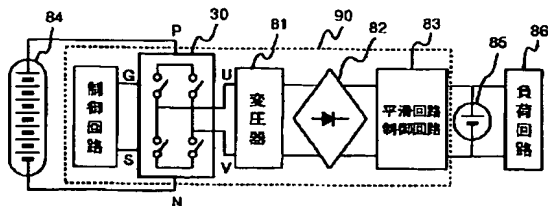
図 19



7A…入力端子 7B…出力端子

【図20】

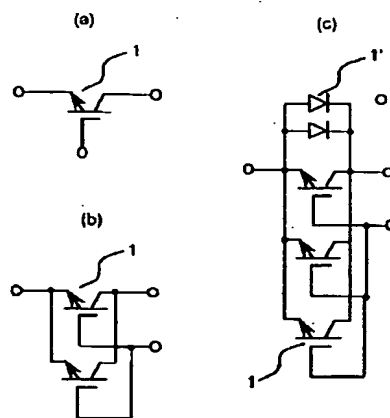
図 20



30…半導体装置 81…変圧器 82…整流回路
83…平滑および制御回路 84…入力電源
85…電池 86…負荷回路

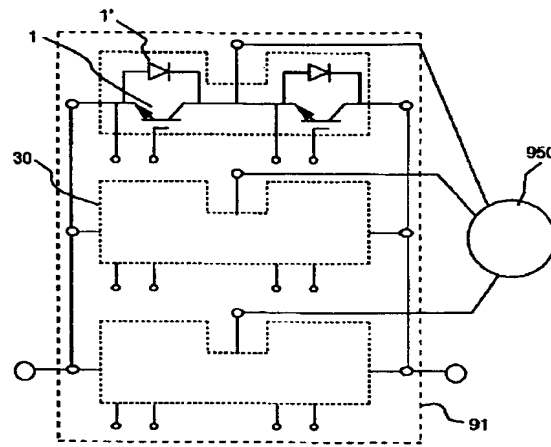
【図23】

図 23



【図22】

図 22



91…回転数制御用インバータ 950…電動機

フロントページの続き

(72)発明者 飯塚 守
長野県小諸市大字柏木190番地 株式会社
日立製作所半導体グループ内

F ターム(参考) 5F047 AA19 BA19 BC31 BC40